온실 열손실 분석용 기상정보 및 온실방위 조사 분석

김영화¹ · 강석원¹ · 백 이¹ · 장재경¹ · 성제훈¹ · 강연구^{2*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부 에너지환경공학과

²농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예시험연구소

Investigation and Greenhouse Heat Loss based on Areas and Weather Information

Young Hwa Kim¹, Sukwon Kang¹, Yee Paek¹, Jae Kyung Jang¹, Sung Je Hoon¹, and Yeon Koo Kang^{2*}

¹Energy & Environmental Engineering Division, NAAS, RDA, Jeonju 54875, Korea

²Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman 52504, Korea

Abstract. In this study, eleven major coastal areas were selected and the climate environment and the greenhouse direction were analyzed. This research investigates the greenhouse heat loss according to the wind environment at target areas. The target areas were selected based on heated greenhouse cultivation area and wind environment standard. Temperature, wind speed, and wind direction among weather data for 30 years were collected and analyzed. The data were divided into the minimum, average, and maximum temperatures and the Meteorological Agency criteria applied to the weather and wind direction criteria. Data were collected in the range of 0~180° considering the symmetry of the shape of the greenhouse. In addition, the wind direction is different for each region and the applied wind direction can be different when referring to the longitudinal direction of the greenhouse and the data are collected in the range of 0~90°. The results of this study are expected to be used to calculate the heating load of greenhouse installed in places wind speed high.

Additional key words : greenhouse direction, wind direction, winter season, wind speed

서 론

국내 난방온실 재배면적은 2005년 9,975ha에서 2015년 15,878ha로 59.2% 상승하였으며 2015년 기준 전체 온실재배면적의 30.4%를 차지한다(MAFRA, 2005, 2015). 난방온실 경영비는 중 난방비가 차지하는 비율은 주요작목 기준 24.7~39.2% 범위에 분포하고 있으며 경영비 요인 중 가장 높은 비중을 차지하고 있다(RDA, 2015). 난방온실의 난방비는 난방부하와 밀접한 관련이 있으며 난방부하는 온실 피복재의 관류전열손실, 토양전열손실, 복사열손실, 틈새환기로 인한 열손실 등으로 구성되는데, 이 중 온실 피복재의 관류전열손실은 전체 열손실의 60~100%를 차지하는 주요한 인자이며 전도전열손실과 대류전열손실로 구성된다(Japan Protected Horticulture Association, 1994; Diop 등 2014; Hwang 등 2013; Lee 등 2011). 이 중 대류전열손실은 외부 풍속에 가장 큰 영향을 받으나 풍속에

따른 난방부하 관련 연구는 부족한 실정이다. 풍속에 따른 난방부하를 산정하기 위해 앞서 온실재배지역의 기상환경 및 풍환경에 대한 조사가 선행되어야 열손실 분석 범위를 정할 수 있으며 온실 난방부하와 연계하여 기상정보를 분석한 사례는 다수 진행되어왔으나 기상환경 중 특히 외부 풍속 및 풍향에 따른 온실의 열손실 분석에 앞서 우리나라 온실밀집지역 풍환경 등 기상환경 및 온실 방위 현황 조사가 필수적으로 선행되어야 하는데 이와 관련된 연구는 전무한 실정이다. 이에 따라 풍환경이 지배적인 지역에 온실을 설치할 때에 난방부하 산정에 삽입되는 기온, 풍속, 풍향 등의 기상자료를 반영하기 위하여 해안지역의 기상자료 및 온실의 방위 분석이 필요한 실정이다.

본 연구는 외부 풍환경에 따른 비닐온실의 열손실 분석에 앞서 우리나라 기상환경 및 풍환경 기초자료의 범위를 설정하고자 우리나라 온실지역 풍환경 등 기상환경 및 온실 방위를 조사 분석하고자 하였다.

연구방법

본 연구는 ‘해안지역은 풍환경이 매우 중요하다’라는

*Corresponding author: ykk0977@korea.kr

Received November 14, 2017; Revised January 23, 2018;

Accepted January 25, 2018

Fig. 1. Locations of selected area.

가정 하에 Fig. 1과 Table 1과 같이 8개 도 중 난방온실 재배면적이 2,000ha 이상인 충남, 전남, 경남의 11개 해안지역의 온실 밀집지역을 대상으로 기상환경과 온실 설치 방위를 분석하였다.

기상청으로부터 과거 30년의 기상정보를 수집하였고 집중 난방기간인 12~2월 대상으로 최저, 평균, 최고 기온 및 풍속, 풍향을 조사 분석하였다. 풍환경은 wind rose map으로 분석하였고 기상청에서 인용하는 바와 같이 풍향은 32방위로 나누고 풍속은 10ms^{-1} 기준 6등분하였다. 평균풍향의 개념인 resultant vector로 합성풍향을 나타내고 4방위 기준으로 최빈 방위 확률을 합산하

여 표기하였다.

온실의 방위는 선정지역에 배치된 농지에 설치된 온실을 대상으로 위성사진을 수집하였으며 Fig. 1과 같이 $50,000\text{m}^2$ 이상 온실 밀집지역을 대상으로 조사하였고 온실의 형태가 대칭인 점을 감안하여 $0\sim 180^\circ$ 범위로 자료를 수집하였다. 또한, 각 지역마다 풍향이 있으며 온실길이방향을 기준으로 하였을 때 적용되는 풍향은 달라질 수 있으므로 본 연구에서는 이를 상대풍향으로 지칭하였으며 기준점으로부터 풍향에서 배치방향의 차이로 두었으며 중복되는 점을 고려하여 $0\sim 90^\circ$ 범위로 자료를 수집하였다.

Table 1. eleven selected stations of coastal area in Chungcheongnam-do, Gyeongsangnam-do and Jeollanam-do.

No.	Province	Station	Lat.(°)	Long.(°)
1	Chungcheongnam-do	Boryung	36.25	126.61
2		Namhae	34.78	127.96
3		Tongyeong	34.94	128.36
4	Gyeongsangnam-do	Geoje	34.86	128.58
5		Yeosu	34.66	127.62
6		Boseong	34.81	127.38
7		Jangheung	34.57	126.90
8	Jeollanam-do	Wando	34.38	126.65
9		Hainan	34.43	126.64
10		Jindo	34.46	126.36
11		Yeonggwang	35.24	126.36

결과 및 고찰

1. 11개 대상지역의 동계 기온

11개 지역 최저기온은 Table 2와 같이 나타내었다. 중부지방에 있는 보령, 영광 지역과 남부지방에 있는 9개 지역의 기온차이가 구분되었다. 중부해안 대상지역은 12월 최저기온은 남부해안 대상지역 비하여 약 2°C 차이가 나는 것을 확인할 수 있었고 평균기온은 남부해안 대상지역 비하여 약 3.6°C의 차이가 나므로 최저기온보다 평균기온 차이가 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 1월 중부해안 대상지역은 최저기온이 남부해안 대상지역 대비 약 3~4°C 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 월별 기온 중 최저기온을 선정할 때에 1월 기온을 고려해야

되는 것으로 판단된다.

2. 풍향 및 풍속 특성

각 지역의 평균 풍향은 Fig. 2와 같이 각 방향의 바람 빈도로 구하였는데 평온을 포함하였다. 보령 지역은 풍향 구성비는 12월에 355~5° 범위에서 23.8%, 15~25° 범위에서 14.3% 평균풍향은 358° 방향에서 41%, 355~5° 범위에서 23.4%, 15~25° 범위에서 16.6% 평균풍향은 352° 방향에서 43%, 355~5° 범위에서 19.8%, 195~205° 범위에서 17.1% 평균풍향은 328° 방향에서 30%로 나타났다. 서해안 주풍향은 북풍이며 평균풍향은 북풍에서 기간이 경과함에 따라 주풍향의 이동은 크게 발생하지 않았으며 주풍향의 비중 또한 큰 변화가 없는 것으로 판단된다.

선정지역 중 동계 서해안과 남해안의 경계 해안 대상 지역중 진도 지역의 풍향 구성비는 12월에 355~5° 범위에서 23.8%, 15~25° 범위에서 14.3% 평균풍향은 358° 방향에서 41%, 355~5° 범위에서 23.4%, 15~25° 범위에서 16.6% 평균풍향은 352° 방향에서 43%, 355~5° 범위에서 19.8%, 265~275° 범위에서 17.1% 평균풍향은 328° 방향에서 30%로 나타났다. 서해 및 남해 경계 대상지역의 주풍향은 북북서풍이었으며 기간이 경과함에 따라 평균풍향은 유사하나 그 빈도의 차이가 있는 것으로 판단된다.

남해안 장흥 지역의 풍향 구성비는 12월에 315~325° 범위에서 20.6%, 335~345° 범위에서 20.3% 평균풍향은 335° 방향에서 57%, 1월에 335~345° 범위에서 28.2%, 315~325° 범위에서 17.7% 평균풍향은 335° 방향에서 67%, 2월에 335~345° 범위에서 23.6%, 315~325° 범위

Table 2. Minimum, average and maximum temperature of selected areas during winter season.

Location	December			January			February		
	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.
Boryung	-2.02	2.16	6.76	-4.47	-0.36	4.15	-3.36	1.18	6.21
Yeonggwang	-2.44	1.98	6.58	-4.97	-0.64	3.97	-3.22	1.33	6.31
Jindo	-0.97	1.92	5.93	-3.29	-0.59	3.37	-2.29	1	5.74
Wando	1.67	5.06	8.88	-0.38	2.71	6.25	0.40	3.94	8.17
Hainam	-1.59	3.55	8.97	-3.20	1.42	6.32	-2.46	2.77	8.28
Jangheung	-2.40	2.90	8.99	-3.95	0.96	6.40	-2.88	2.60	8.67
Boseong	-1.24	3.43	8.35	-3.42	1.29	6.38	-0.48	0.87	2.35
Weosu	1.99	5.19	9.03	-0.40	2.71	6.48	0.89	4.29	8.39
Namhae	-0.11	4.37	9.31	-2.09	2.14	6.88	-0.78	3.94	9.13
Tongyeong	1.39	5.48	10.36	-0.81	3.10	7.85	0.63	4.74	9.54
Geoje	0.27	4.71	9.61	-1.56	2.55	7.20	-0.29	4.28	9.25

온실 열손실 분석용 기상정보 및 온실방위 조사 분석

Fig. 2. Monthly average wind-rose map during winter : (A) Boryung, (B) YoungGwang, (C) Jindo, (D) Wando, (E) Hainam, (F) Jangheung, (G) Boseong, (H) Yeosu, (I) Namhae, (J) Tongyoung and (K) Geoje

Table 3. Wind speed distribution of target areas on December (unit : %).

Location	Wind speed(ms ⁻¹)					
	≤2	2~4	4~6	6~8	8~10	10≥
Boryung	1.2	40.8	41.6	13	2.7	0.8
Yeonggwang	0.4	21.5	29.7	24.7	16.5	7.2
Jindo	1.2	40.8	41.6	13	2.7	0.8
Wando	0.1	8.5	16.3	20.8	18	36.3
Hainam	1.4	18.1	45.5	23.9	7.4	3.8
Jangheung	1.7	22	37.5	25.2	10.8	2.8
Boseong	0.9	10.6	21.2	29.5	24.9	12.9
Weosu	0	1.4	8.9	22.6	26	41.1
Namhae	8.1	48	26.8	12.8	3.1	1.3
Tongyeong	0.3	17.2	40.1	27.8	9.8	4.7
Geoje	4.3	45.1	36.3	12.5	1.5	0.3

에서 14.5% 평균풍향은 331° 방향에서 39%로 나타났다. 남해안 대상지역의 주풍향은 북서풍이었으며 기간이 경과함에 따라 평균풍향은 유사하나 그 빈도의 차이가 있는 것으로 판단된다.

11개 대상지역의 풍속을 2ms⁻¹ 단위로 10ms⁻¹까지 총 6구간으로 나누고 그 분포는 다음과 같다(Table 3,4,5). 보령지역은 2~6ms⁻¹ 구간의 풍속 분포가 12월에 82.4%, 1월에 85.5%, 2월에 84.3% 차지하였다. 영광지역은 12월 4~6ms⁻¹에서 29.7%였으나 1월에는 41.3%, 2월에는 47.5%로 집중되는 경향을 보였다. 진도지역 12월에는 4~6ms⁻¹에는 41.6%, 2~4ms⁻¹에는 40.8%, 1월 4~6ms⁻¹ 구간에서는 43%, 2~4ms⁻¹ 구간에서는 42.5%, 2월은 2~4ms⁻¹ 구간에서는 42.3%, 4~6ms⁻¹ 구간에서는 42% 나타나 2~6ms⁻¹구간에 풍속이 집중되었다. 완도, 보성, 여수지역은 4~10ms⁻¹ 구간에 걸쳐서 집중 분포되는 것을 확인할 수 있었고 해남, 장흥, 통영지역은 4~6ms⁻¹ 집중 풍속구간임을 확인할 수 있었다. 11개 대상지역중 보령, 진도, 거제지역은 2~6ms⁻¹ 풍속이 집중적으로 분포되어있었고, 특히 영광, 해남, 장흥, 남해, 통영 지역은 4~6ms⁻¹ 구간에 집중되어 있었으며 영광을 제외한 10개 지역은 월간 풍속 분포차이가 크게 발생하지 않는 것으로 판단된다.

3. 방위분석

온실의 길이방향 기준 배치방향은 Table 6과 같이 나타내었다. 보령과 영광, 남해 지역은 60%이상 집중되어 있는 방향이 존재하였고 해남, 통영지역은 약 90% 집중되어있는 방향이 존재하였으며 상대풍향은 Table 7과 같

Table 4. Wind speed distribution of target areas on January (unit : %).

Location	Wind speed(ms ⁻¹)					
	≤2	2~4	4~6	6~8	8~10	10≥
Boryung	2.2	42.5	43	9.6	2.2	0.6
Yeonggwang	0	19.7	41.3	24.5	11.6	2.9
Jindo	2.2	42.5	43	9.6	2.2	0.6
Wando	0.2	5.1	14.9	20.5	20.1	39.1
Hainam	1.1	14.9	47.4	24.4	8.4	3.8
Jangheung	0.9	19	36.1	26.2	13.5	4.2
Boseong	0.5	6.9	24.4	28.1	29	11.1
Weosu	0	1	5.9	18.1	27	48.1
Namhae	8	46	27.2	13.2	4.1	1.5
Tongyeong	0	16.9	38	31.1	10.8	3.3
Geoje	3.1	43	39.5	12.6	1.6	0.2

Table 5. Wind speed distribution of target areas on February (unit : %).

Location	Wind speed(ms ⁻¹)					
	≤2	2~4	4~6	6~8	8~10	10≥
Boryung	0.5	42.3	42	11.2	3.3	0.7
Yeonggwang	0	13.2	47.5	25.4	11.8	2.1
Jindo	0.5	42.3	42	11.2	3.3	0.7
Wando	0.1	4.2	15.8	22.3	18.6	39
Hainam	0.1	9.5	43.3	31.5	10.4	5.1
Jangheung	0.4	16.2	41.8	24.8	12.7	4.2
Boseong	0	6.9	27.2	35	18.9	12
Weosu	0	1.2	9.6	17.3	27.9	44
Namhae	5.2	48.3	28.7	11.7	4.2	1.9
Tongyeong	0	12.4	42.3	27.7	10.4	7.3
Geoje	2.3	41.4	40.8	13.3	2	0.2

이 나타내었다. 이는 경지정리로 인하여 방향이 편향되어있는 지역이 존재하는 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 풍환경에 따른 열손실을 분석하는데 있어 필요한 풍속 기초자료를 제공하기 위하여 주요 11개 해안지역 중 온실밀집지역을 선정하여 기상환경 및 온실 방위를 조사 분석하였다. 대상지역은 난방온실 재배면적과 풍환경 기준으로 선정하였고 온실밀집지역은 50,000m² 이상인 지역을 대상으로 하였다. 11곳의 기상자료 중 기온,

Table 6. Angle of greenhouse direction at the target areas.

Location	0~45°		45~90°		90~135°		135~180°	
	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)
Boryung	7,184	7.8	59,939	65.4	24,481	26.7	-	-
Yeonggwang	31,956	33.0	58,075	60.1	1,039	1.1	5,646	5.8
Jindo	35,935	47.9	670	0.9	15,537	20.7	22,966	30.6
Wando	45,487	53.7	6,455	7.6	2,120	2.5	30,654	55.4
Hainam	-	-	116,071	92.9	1,345	1.9	7,528	6.0
Jangheung	12,187	13.0	37,180	39.5	-	-	44,777	47.6
Boseong	15,779	16.9	21,113	22.6	26,320	28.2	30,239	32.4
Weosu	19,284	38.3	10,704	21.2	14,567	28.9	5,855	11.6
Namhae	-	-	39,201	64.5	21,587	35.5	-	-
Tongyeong	2,145	2.2	-	-	7,612	7.8	87,465	90.0
Geoje	20,610	23.8	8,446	9.8	18,904	21.8	38,583	44.6

Table 7. Relative wind direction to greenhouse longitudinal direction.

Location	0~45°		45~90°	
	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)
Boryung	7,184	7.8	84,421	92.2
Yeonggwang	37,602	38.9	59,114	61.1
Jindo	58,901	78.4	16,207	21.6
Wando	68,306	80.6	16,410	19.4
Hainam	8,872	7.1	116,071	92.9
Jangheung	56,963	60.5	37,179	39.5
Boseong	44,945	48.1	48,507	51.9
Weosu	27,111	53.8	23,298	46.2
Namhae	21,587	35.5	29,201	64.5
Tongyeong	89,609	92.2	7,612	7.8
Geoje	71,871	83.1	14,672	17.0

풍속, 풍향을 대상으로 30년간 자료를 수집하여 분석하였고 기온은 최저, 평균, 최고 기온을 나누고 풍속 및 풍향 기준은 기상청 분석 기준을 적용하였다. 온실의 배치방향은 형태가 대칭인 점을 감안하여 0~180° 범위로 자료를 수집하였다. 또한, 각 지역마다 풍향이 있으며 온실길이방향을 기준으로 하였을 때 적용되는 풍향은 달라질 수 있으며 이를 상대풍향으로 지칭하고 중복되는 점을 고려하여 0~90° 범위로 자료를 수집하였다.

11개 지역의 기온은 중부지방에 있는 보령, 영광 지역과 남부지방에 있는 9개 지역의 기온차이가 구분되었다.

중부해안 대상지역은 1월 최저기온은 약 3~4°C 정도 온도가 높은 것을 확인할 수 있었고 평균기온은 약 3°C 정도 높았으며 월별 기온 중 최저기온을 선정할 때에 1월 기온을 고려해야 되는 것으로 판단된다. 대상지역의 주풍향에 대한 월별 차이는 크게 발생하지 않았으며 풍향 분포에 따라 지역별로 서해안측, 서해 및 남해 경계 해안측, 남해안측으로 구분되어졌다. 풍속은 영광을 제외한 10개 지역은 월간 풍속 포차이가 크게 발생하지 않는 것으로 판단된다. 대상지역의 온실의 방향은 길이방향 기준으로 분석하였으며 보령과 영광, 남해 지역은 60%이상 집중되어 있는 방향이 존재하였고 해남, 통영 지역은 약 90% 집중되어있는 방향이 존재하였으며 이는 경지정리로 인하여 방향이 편향되어있는 지역이 존재하는 것으로 판단된다.

추가 주제어 : 온실 방위, 풍향, 동계, 풍속

사 사

본 연구는 2017년도 농촌진흥청 국립농업과학원 연구개발사업(과제번호: PJ010959 & PJ010964)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature cited

Choi, J.K., Y.S. Kim and D.S. Song, 2012. Effect of the building envelope on heating and cooling load in super tall building considering the meteorological changes with height. Spring Conference Papers, 32(1):337-344.

- Hwang, Y.Y. and J.W. Lee 2013. Calculation of the overall heat transfer coefficient of single layer covering in greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control*, 22(2):108-115 (in Korean).
- Ido Seginer, Garrit van Straten, and Peter J.M.. van Beveren, 2017. Day-to-night heat storage in greenhouses: 1 Optimisation for periodic weather. *BIOSYSTEM ENGINEERING* 161:174-187.
- Japan Protected Horticulture Association. 1994. Handbook of protected horticulture association. p.170-173 (in Japanese).
- Jeong, W.J., D.J. Myoung and J.H. Lee, 2009. Comparison of climate conditions of sweet pepper's greenhouse between korea and netherlands. *Journal of Bio-Environment Control*, 18(3):244-252 (in Korean).
- Jeong, S.H., J.W. Lee, S.Y. Lee and H.W. Lee, 2015. Analysis of wind velocity profile for calculation of wind pressure on greenhouse, *Protected Hort. Plant Fac.* 24(3):135-146 (in Korean).
- Kang, D.H., S.Y. Lee, J.K. Kim, H.K. Choi, M.J. Park, J.S. Yeon and J.K. Son, 2015. The meteorological themes selection for the site selection of protected horticulture complex in saemanguem. *Protected Hort. Plant Fac.* 24(4):287-295 (in Koren).
- Kang, D.H., S.Y. Lee, J.K. Kim, H.K. Choi, M.J. Park, S.W. Yoon and J.K. Son, 2016. susitability site selection by meteorological factors for the protected horticulture complex in saemanguem. *Protected Hort. Plant Fac.* 25(1):1-8 (in Koren).
- Lee, D.S. and J.H. Jo, 2014. Analysis on regional cooling and heating energy characteristics of the building facade using the climate index. *Journal of KIAEBS*, 8(4):201-206.
- Lee, H.W., D. Souleymane and Y.S. Kim, 2011. Variation of the overall heat transfer coefficient of plastic greenhouse covering material. *Journal of Bio-Environment Control*, 20(2):72-77 (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2005. Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2005 (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2015. Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2015 (in Korean).
- Nam, S.W., H.H. Shin and D.W. Seo, 2014. Comparative analysis of weather data for heating and cooling load calculation in greenhouse environmental design. *Protected Hort. Plant Fac.* 23(3):174-180 (in Koren).
- Nam, S.W. and H.H. Shin, 2016. Analysis of the outdoor design conditions for greenhouse heating and cooling systems in korea. *Protected Hort. Plant Fac.* 25(4):308-319 (in Koren).
- Rural Development Administration (RDA). 2015. Agriculture and livestock income database for improving agricultural management in 2015 (in Korean).
- Yoo, H.C. and H.G. Kang, 2011. Heating and cooling load using the thermal analysis methods by the korea typical meteorological data. *Journal of Achitextural Institute of Korea*. 27(2):245-252.